

ASTROMETRIE CCD ET ANALYSE PHYSIQUE D'UN ECHANTILLON DE CANDIDATES BINAIRES ECARTEES ISSUES DE GAIA/WDSS

CCD ASTROMETRY AND PHYSICAL ANALYSIS OF SELECTED GAIA/WDSS WIDE BINARY CANDIDATES

Rafael Benavides Palencia

Agrupación Astronómica de Córdoba

rafaelbenpal@gmail.com

Résumé

Nous présentons les mesures astrométriques CCD et la caractérisation d'un échantillon de 14 couples écartés très probablement physiques identifiés à partir de critères de cohérence astrométrique issus de Gaia DR3. Treize des systèmes étudiés sont identifiés avec des entrées du Washington Double Star Supplement (WDSS) et des catalogues modernes associés, tandis qu'une autre paire probablement physique n'apparaît actuellement ni dans le WDS ni dans le WDSS. Les observations ont été obtenues à l'aide d'un télescope Celestron C14 équipé d'une caméra CCD QHY9. Les angles de position et les séparations angulaires ont été mesurés à l'aide du logiciel REDUC après un étalonnage astrométrique avec des étoiles de référence Gaia DR3. Les systèmes observés ont été analysés par comparaison avec l'astrométrie Gaia DR3, les mesures historiques et les données photométriques multi-bandes de plusieurs relevés modernes. L'échantillon sélectionné comprend des systèmes compacts, des binaires naines M de faible masse, des paires SUPERWIDE et d'éventuels systèmes du disque épais présentant une stabilité astrométrique à long terme et une cohérence cinématique remarquables. Le présent travail met en évidence l'intérêt constant d'observations CCD indépendantes pour la caractérisation et le suivi de candidates binaires identifiées dans les grands relevés astrométriques modernes.

Abstract

We present CCD astrometric measurements and physical characterization of a selected sample of 14 high-probability wide binary candidates identified through Gaia DR3 astrometric consistency criteria. Thirteen of the studied systems are cross-identified with entries from the Washington Double Star Supplement (WDSS) and related modern catalogs, while one additional highly probable physical wide pair does not currently appear in either WDS or WDSS compilations. Observations were obtained using a Celestron C14 telescope equipped with a QHY9 CCD camera. Position angles and angular separations were measured using the REDUC software package following astrometric calibration with Gaia DR3 reference stars. The observed systems were analyzed through comparison with Gaia DR3 astrometry, historical catalog measurements and multiband photometric data from several modern surveys. The selected sample includes compact systems, low-mass M-dwarf binaries, SUPERWIDE pairs and possible thick-disk systems exhibiting remarkable long-term astrometric stability and kinematic coherence. The present work illustrates the continued value of independent CCD observations for the characterization and follow-up of wide binary candidates identified in large modern astrometric surveys.

Keywords: binaries:visual, wide, astrometry, photometry, classification



1. Introduction

L'avènement de Gaia DR3 [1] a profondément transformé l'étude des systèmes binaires écartés en fournissant des données astrométriques et photométriques d'une précision sans précédent pour plus d'un milliard d'étoiles. La combinaison de parallaxes précises, de mouvements propres et d'une photométrie multi-bandes homogène a permis l'identification systématique de grandes populations de paires physiques candidates sur une large gamme de séparations angulaires et de masses stellaires.

Parallèlement aux études basées sur Gaia, plusieurs grandes compilations de candidates binaires écartées ont été produites ces dernières années à l'aide de techniques de sélection automatisées et de méthodes de validation statistique. Parmi celles-ci, le Washington Double Star Supplement (WDSS) intègre des millions de paires de candidats identifiées à partir de Gaia et d'autres relevés modernes [3][4][5][6], étendant le cadre WDS classique [2] vers des systèmes

beaucoup plus larges et plus faibles. Des catalogues tels que SUPERWIDE [5], SLoWPoKES [6] et d'autres inventaires basés sur Gaia ont démontré la richesse de cette population et son importance pour l'étude de la formation stellaire, de la dynamique galactique et de l'évolution des systèmes doubles.

Malgré l'énorme quantité de données disponibles, beaucoup de ces systèmes manquent encore de suivi d'observation indépendant, de mesures astrométriques récentes ou de discussions physiques. Dans ce contexte, les observations CCD obtenues avec des télescopes d'ouverture modérée continuent de fournir des informations complémentaires précieuses, notamment pour la confirmation de l'astrométrie relative, la stabilité à long terme et la cohérence photométrique des systèmes candidats.

Dans ce travail, nous présentons les mesures astrométriques et photométriques CCD d'un échantillon de candidates binaires physiques d'après des critères de cohérence astrométrique issus de Gaia DR3 et identifiés de manière croisée avec les entrées du WDSS et des catalogues associés. Les systèmes sélectionnés ont été choisis pour leur haut degré de cohérence en matière de parallaxe et de mouvement propre, ainsi que pour leur adéquation à l'observation directe CCD.

Pour chaque système, nous comparons nos mesures avec l'astrométrie de Gaia DR3 et les données historiques, notamment 2MASS, Pan-STARRS, WISE/CatWISE et d'autres inventaires modernes lorsqu'ils sont disponibles. Nous discutons également de la plausibilité physique des paires sur la base de leur cohérence cinématique, de leurs propriétés photométriques et de leurs paramètres astrophysiques dérivés des catalogues basés sur Gaia.

L'objectif de cette étude n'est pas l'identification de nouveaux systèmes binaires, mais plutôt la caractérisation observationnelle et l'analyse d'un échantillon homogène de candidats binaires de Gaia/WDSS en utilisant des mesures CCD indépendantes combinées à des données astrométriques et photométriques récentes.

2. Observations et réductions

Les systèmes candidats ont d'abord été sélectionnés à l'aide d'un pipeline d'analyse développé à partir des données astrométriques de Gaia DR3. Le processus de sélection s'appuie sur la cohérence des parallaxes et des mouvements propres des composantes de chaque paire. Les systèmes présentant les scores de compatibilité les plus élevés et la plus forte probabilité d'association physique ont été retenus en priorité pour une observation par CCD et une analyse ultérieure.

Les observations ont été réalisées à l'aide d'un télescope Schmidt-Cassegrain Celestron C14 équipé d'une caméra CCD monochrome QHY9. La caméra QHY9 utilise un capteur Kodak KAF-8300 de 3326×2504 pixels de $5,4 \mu\text{m}$ de côté. Avec la configuration optique utilisée, le système offrait un échantillonnage d'environ $0,42''/\text{pixel}$ et un champ proche de $23' \times 17'$. Lors des sessions d'observation la largeur à mi-hauteur (FWHM) des images était typiquement de l'ordre de $1''$ à $2''$.

Pour chaque cible, nous avons généralement acquis au moins 10 images CCD avec des temps d'exposition de 30 secondes en mode binning 1×1 . Cette configuration a permis d'obtenir un échantillonnage suffisant pour des mesures astrométriques précises, tout en conservant des rapports signal/bruit significatifs pour les composantes principales et les composantes secondaires.

L'étalonnage astrométrique et les réductions préliminaires ont été réalisés à l'aide du logiciel Astrometrica [9]. Le catalogue Gaia DR3 a été retenu comme catalogue de référence astrométrique. Le champ relativement large a permis d'utiliser de nombreuses étoiles de référence dans chaque image, généralement entre 150 et 200, ce qui a conduit à des solutions astrométriques robustes avec des résidus RMS proches de $0,2''$ dans les deux coordonnées.

Les paramètres astrométriques calibrés ont ensuite été intégrés au logiciel Reduc [10], développé par Florent Losse, afin d'obtenir des mesures plus précises de l'angle de position et de la séparation angulaire des étoiles doubles observées. Dans la mesure du possible, plusieurs images ont été analysées indépendamment afin de vérifier la cohérence interne des résultats.

Les mesures photométriques ont été obtenues à partir des images CCD à l'aide du logiciel FoCAs [11] et sont présentées dans la table 1, accompagnées des résultats astrométriques. La photométrie Gaia DR3 et les données complémentaires issues d'études multi-bandes ont ensuite servi de référence lors de la caractérisation physique des systèmes. La cohérence photométrique entre les composantes a été considérée comme un indicateur supplémentaire d'une éventuelle association physique.

A la suite de la phase d'observation, toutes les paires candidates ont été examinées en détail au moyen d'un important travail de recoupement et d'exploration des données à l'aide VizieR [7] et des relevés modernes à grande échelle. Une attention particulière a été accordée à l'astrométrie et aux paramètres astrophysiques de Gaia DR3, ainsi qu'aux

informations photométriques multi-bandes issues de catalogues tels que 2MASS, Pan-STARRS, CatWISE, SDSS et des autres relevés disponibles. Lorsque cela était possible, les coordonnées cartésiennes et les informations spatiales tri-dimensionnelles ont également été prises en compte afin d'évaluer plus en détail la nature physique potentielle des systèmes.

3. Mesures et résultats

La table 1 présente les mesures astrométriques et photométriques obtenues pour les quatorze systèmes de cette étude. Les identifiants WDSS des systèmes et Gaia DR3 de chaque composante sont fournis pour une identification sans ambiguïté des composantes. L'époque est exprimée en années juliennes. Les angles de position (θ) et les séparations angulaires (ρ) ont été mesurés à partir d'images CCD à l'aide de REDUC après étalonnage astrométrique avec les étoiles de référence Gaia DR3. Les magnitudes correspondent à la photométrie CCD obtenue avec le package FoCas. Les colonnes σ_θ et σ_ρ représentent les incertitudes internes des mesures. Un minimum de dix images CCD était généralement acquis pour chaque système. Les notes fournissent des informations supplémentaires concernant la nature physique et les caractéristiques de chaque paire.

Table 1. Mesures astrométriques et photométriques des couples observés.

WDSS Id.	Gaia DR3 A	Gaia DR3 B	Epoque J	θ (°)	σ_θ	ρ (")	σ_ρ	Mag A	Mag B	Notes
0003484+452151 AB	386625607299009024	386625607299009408	2025.8161	101.62	0.15	11.963	0.033	12.63	14.50	1
0005397+401940 AB	383932765883428992	383932765883429120	2025.8091	69.70	0.3	8.062	0.041	12.69	14.68	2
0012069+401138 AB	383037969576794240	383037969574970496	2025.8119	171.33	0.44	3.239	0.032	13.59	16.49	3
0012582+460623 AB	386170512564757760	386170512564757504	2025.8092	280.68	0.27	7.034	0.057	14.24	14.51	4
0017010+445130 AB	385944215030333824	385944219328160384	2025.8114	356.74	1.22	4.75	0.051	12.15	17.45	5
0021103+402341 AB	380336155972886912	380336366428683392	2025.8093	302.6	0.18	5.253	0.018	12.00	14.60	6
0025490+450131 AB	388802193646653440	388802193646653312	2025.8120	48.77	0.43	8.431	0.06	14.33	15.91	7
0026229+445608 AB	388798070478083968	388798070478084224	2025.8171	153.33	1.1	3.846	0.04	15.41	16.64	8
0033583+450733 AB	388639702145913600	388639702147433216	2025.8132	46.4	0.59	3.425	0.02	17.35	18.03	9
0107356+443152 AB	376729452893176064	376729452893176448	2025.8532	207.28	0.44	9.419	0.051	13.65	15.98	10
0108147+451328 AB	376865276939802496	376865276939801856	2025.8581	33.37	0.46	4.008	0.028	11.70	14.11	11
0112544+460020 AB	400964849538093312	400964853833633536	2025.8572	346.42	0.54	3.581	0.025	13.13	13.63	12
0117048+455356 AB	397925047780224256	397930923295485056	2025.8539	7.25	0.55	8.554	0.076	12.18	12.26	13
(031244+451726 AB)	434607435744231296	434607504463707392	2025.8540	349.13	0.32	8.72	0.065	15.86	16.24	14

Notes

1. Excellente concordance de parallaxes, des mouvements propres et des vitesses radiales extraits de Gaia. L'étroite similarité des propriétés astrométriques et cinématiques corrobore fortement l'existence d'une association physique.
2. Ce couple présente une remarquable cohérence dans l'astrométrie de Gaia DR3, ainsi qu'une position relative pratiquement inchangée dans les mesures du WDSS entre 1998 et 2025.
3. Système Gaia/WDSS compact présentant une grande homogénéité de parallaxe et de mouvement propre. La composante secondaire semble être une naine de type M froide, non résolue dans les observations 2MASS.
4. La paire AB principale présente une très forte cohérence astrométrique selon Gaia DR3 ainsi qu'une grande stabilité à long terme, la paire CD voisine est identifiée comme un système d'arrière-plan optique lointain.
5. Ce couple présente une cohérence astrométrique exceptionnelle selon Gaia DR3 et l'une des plus faibles distances projetées de notre échantillon (~147 UA), ce qui suggère qu'il s'agit d'un système binaire K–M étroitement lié.
6. Système binaire écarté Gaia/WDSS possédant des parallaxes, des mouvements propres et des vitesses radiales pratiquement identiques sur l'ensemble des données disponibles.

7. Système binaire écarté de faible masse situé dans le voisinage solaire, formé de deux naines de type M tardif, présentant une astrométrie Gaia DR3 homogène et une stabilité positionnelle à long terme.
8. Binaire Gaia/SUPERWIDE de faible masse très stable avec une position relative presque inchangée de 1998 à 2025 et une cinématique en accord avec l'appartenance au disque mince.
9. Système Gaia/WDSS de magnitude élevée, composé de deux naines M de type tardif d'environ 0,3 M_{\odot} avec une astrométrie homogène et une séparation projetée d'environ 930 UA.
10. Couple Gaia/WDSS de type K-M bien résolu montrant une cohérence astrométrique exceptionnelle sur plus de 70 ans, des premiers catalogues photographiques aux observations CCD récentes.
11. Binaire écartée de type F-K bien résolue présentant une astrométrie Gaia DR3 homogène et des vecteurs de vitesse galactique presque identiques malgré une séparation projetée d'environ 1900 UA.
12. Binaire écartée de types K-K remarquablement homogène confirmée par l'astrométrie Gaia/SUPERWIDE, des mesures historiques stables et des vitesses galactiques tridimensionnelles presque identiques.
13. Couple Gaia/SUPERWIDE très similaire composé de deux naines de type tardif presque jumelles avec des différences photométriques et cinématiques minimales.
14. Binaire très probablement physique actuellement absente des catalogues WDS/WDSS. Ses caractéristiques sont discutées dans §5.

4. Sélection d'images des couples étudiés

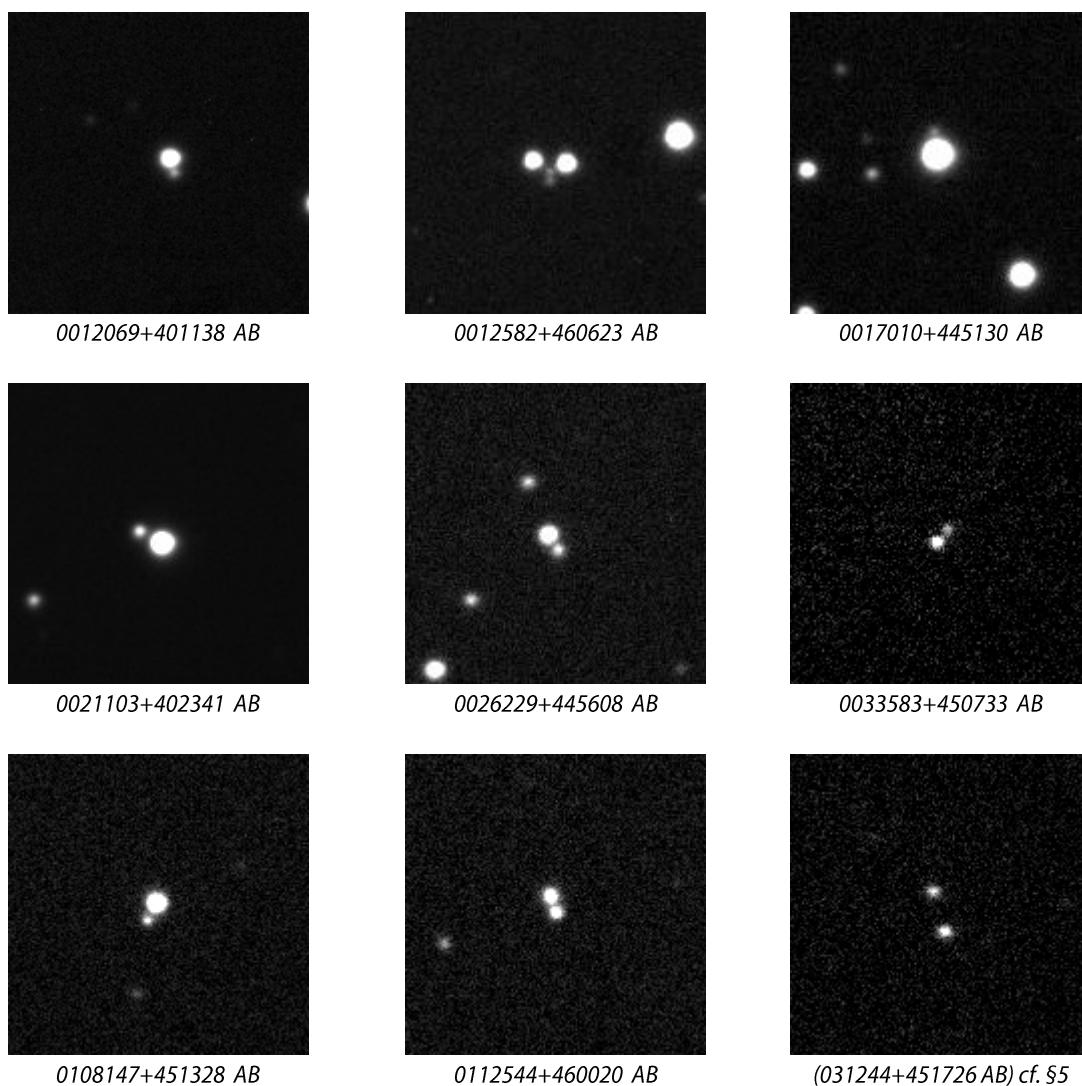


Figure 1. Champs CCD sélectionnés de systèmes représentatifs inclus dans cette étude. Le nord est en haut et l'est à droite sur toutes les images.

5. Une paire physique probable absente de WDS/WDSS

Un système supplémentaire inclus dans ce travail mérite une attention particulière car, contrairement au reste de l'échantillon, il n'apparaît actuellement ni dans les compilations WDS ni dans les compilations WDSS. La paire, située à la position moyenne $\alpha = 03^{\text{h}} 12^{\text{m}} 44,58^{\text{s}}$, $\delta = +45^{\circ} 17' 26,5''$ (J2000), a été initialement identifiée lors de notre processus de filtrage Gaia DR3 comme un candidat comobile à forte probabilité, obtenant un score de binarité de 0,937.

L'astrométrie Gaia DR3 des deux composantes présente une remarquable cohérence. Les parallaxes mesurées sont $\pi(A) = 0,7521 \pm 0,0491$ mas et $\pi(B) = 0,7164 \pm 0,0616$ mas, tandis que les mouvements propres sont $\text{pmRA}(A) = +12,477$ mas/an, $\text{pmDec}(A) = -17,099$ mas/an et $\text{pmRA}(B) = +12,410$ mas/an, $\text{pmDec}(B) = -17,128$ mas/an. La paire présente une séparation angulaire d'environ $8,69''$ avec $\theta \approx 349^{\circ}$, qui reste stable sur l'ensemble de l'intervalle historique actuellement accessible dans les catalogues disponibles, depuis la première époque d'USNO-A2.0 (1957,97) jusqu'à nos propres mesures CCD obtenues en 2025. La table 2 présente les paramètres essentiels de Gaia DR3 utilisés dans l'évaluation du système et la figure 2 une image du champ où il se trouve.

Table 2. Principaux paramètres astrométriques et photométriques Gaia DR3 de la paire non cataloguée.

Paramètre	Composante A	Composante B
Gaia DR3	434607435744231296	434607504463707392
Parallax (mas)	0.7521 ± 0.0491	0.7164 ± 0.0616
pmRA (mas/yr)	+12.477	+12.410
pmDec (mas/yr)	-17.099	-17.128
G magnitude	16.095	16.354
BP-RP	1.20	1.23

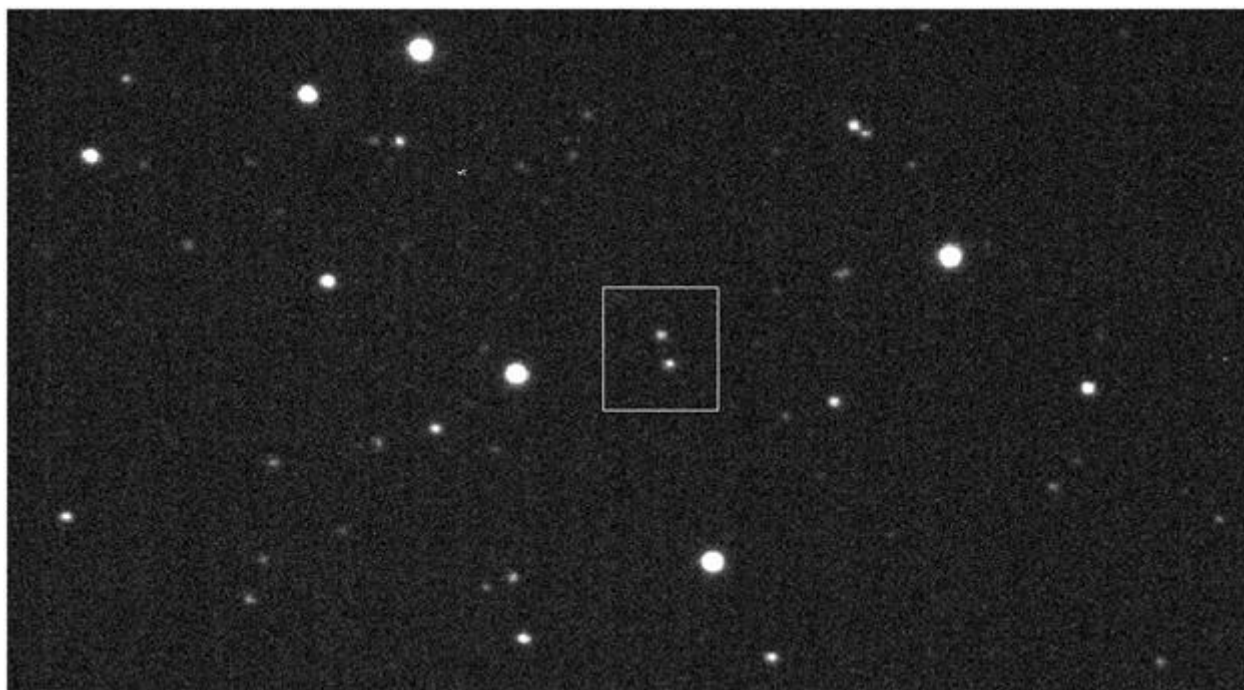


Figure 2. Image du champ du couple discuté en §5. Le système est entouré par un carré. Le Nord est en haut l'Est est à droite.

Les paramètres photométriques et astrophysiques indiquent que les deux étoiles sont des naines de type tardif K présentant des propriétés physiques très similaires. Les températures mesurées par Gaia DR3 (5425 K et 5242 K), ainsi que les données photométriques multi-bandes de Pan-STARRS, 2MASS et WISE/CatWISE, sont parfaitement compatibles avec un couple d'étoiles âgées de type K de la séquence principale. Les métallicités déduites de Gaia DR3 sont légèrement inférieures à la métallicité solaire ($[\text{Fe}/\text{H}] \approx -0,5$ à $-0,6$ dex), ce qui suggère une possible appartenance à la population du disque épais galactique. En supposant une distance moyenne proche de 900 pc, la séparation physique projetée est d'environ 7800 UA, suggérant en première approximation une période orbitale de l'ordre de 5×10^5 ans.

Pris ensemble, la cohérence astrométrique, la stabilité à long terme, la cohérence photométrique multi-bandes et les paramètres astrophysiques soutiennent fortement l'hypothèse que cet objet est un système binaire physique.

6. Conclusion

Nos mesures CCD confirment la remarquable stabilité astrométrique et la plausibilité physique des systèmes Gaia/WDSS sélectionnés. La combinaison de mesures astrométriques CCD indépendantes avec les données de Gaia et les données de catalogues historiques démontrent l'intérêt constant des observations avec des instruments d'ouverture moyenne pour la caractérisation des candidats binaires à large séparation identifiés dans les grands relevés modernes.

Remerciements

L'auteur remercie l'Agence spatiale européenne (ESA) pour l'utilisation des données de la mission Gaia, traitées par le Consortium pour le traitement et l'analyse des données Gaia (DPAC). Ces travaux de recherche ont largement utilisé l'outil d'accès au catalogue VizieR et la base de données SIMBAD, exploités au CDS de Strasbourg, en France.

Il remercie l'Observatoire naval des États-Unis qui maintient le Washington Double Star Catalog (WDS) ainsi que le Washington Double Star Supplemental Catalog (WDSS).

L'auteur tient à remercier Florent Losse pour le développement du logiciel REDUC utilisé dans le cadre de ces travaux, ainsi que pour son soutien constant à l'astrométrie des étoiles doubles pratiquée par les amateurs par le biais d'Étoiles Doubles.

L'auteur remercie tout particulièrement Rachel A. Matson (Observatoire Naval des États-Unis) de lui avoir aimablement donné accès aux données du WDSS et de lui avoir apporté son aide précieuse et sa disponibilité concernant les données des catalogues d'étoiles doubles.

References

- [1] Gaia Collaboration et al., A&A 674, A1, 2023. Gaia Data Release 3: Summary of the content and survey properties.
- [2] Mason, B.D., Wycoff, G.L., Hartkopf, W.I., Douglass, G.G., Worley, C.E., AJ 122, 3466, 2001. The Washington Double Star Catalog.
- [3] El-Badry, K. et al., MNRAS 506, 2269, 2021. A million binaries from Gaia eDR3: sample selection and validation of Gaia parallax uncertainties.
- [4] Tian, H.-J. et al., ApJS 246, 4, 2020. The Separation Distribution of Ultrawide Binaries across Galactic Populations.
- [5] Hartman, Z.D., Lépine, S., Bongiorno, B., ApJS 247, 66, 2020. The SUPERWIDE Catalog: A Catalog of 99,203 Wide Binaries Found in Gaia and Supplemented by the SUPERBLINK High Proper Motion Catalog.
- [6] Dhital, S., West, A.A., Stassun, K.G., Bochanski, J.J., AJ 150, 57, 2015. SLOWPoKES-II: 100,000 Wide Binaries Identified in SDSS without Proper Motions.
- [7] Ochsenbein, F., Bauer, P., Marcout, J., A&AS 143, 23, 2000. The VizieR database of astronomical catalogues.
- [8] Wenger, M. et al., A&AS 143, 9, 2000. The SIMBAD astronomical database.
- [9] Raab, H., Astrometrica software. <http://www.astrometrica.at>
- [10] Losse, F., REDUC software. <http://www.astrosurf.com/hfosaf/>
- [11] Castellano, J., FoCas software. <http://astrosurf.com/orodeno/focas/>



*Rafael Benavides Palencia est un astronome amateur espagnol dont l'intérêt pour les étoiles doubles remonte à son enfance avec une petite lunette de 60 mm. Depuis près de trente ans il se consacre activement à la mesure astrométrique et à l'étude des étoiles doubles et depuis 2004 il est le rédacteur de la section «Étoiles doubles» de la revue d'astronomie espagnole *Astronomía*. Il a aussi été l'un des fondateurs et éditeurs de la revue *El Observador de Estrellas Dobles (OED)*. Ses domaines d'observation et d'étude comprennent également les systèmes à mouvement propre commun, la photométrie, les supernovæ et les étoiles variables.*